

ЛИТЫЕ МОЛИБДЕНОВЫЕ БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

И. Т. ТИХОНОВ

Вольфрам и молибден по своему действию на быстрорежущую сталь весьма близки друг к другу, причем молибден значительно эффективнее, и 1% молибдена в отношении создания режущих свойств равноценен, примерно, 2% вольфрама. Но кованные молибденовые быстрорежущие стали, обладая режущими свойствами на уровне вольфрамовых, весьма склонны к обезуглероживанию в процессе нагрева под ковку или закалку и отличаются суженным интервалом закалочных температур, что в значительной мере затрудняет их широкое использование.

Изготовление инструмента при помощи литья открывает новые возможности для применения молибденовых быстрорежущих сталей. Многие типы режущего инструмента при изготовлении способом литья, как показывают опыты, могут быть получены в законченном виде, требующем лишь заточки по режущим граням и нормальный отпуск. В этом случае теряют значение такие факторы, как обезуглероживание и суженный интервал закалочных температур. Для инструмента такого типа молибден, очевидно, можно рассматривать как полноценный заменитель вольфрама.

Состав и изготовление плавок

Состав кованной быстрорежущей стали определяется не только её режущими, но и технологическими свойствами. В случае литого инструмента отпадает необходимость учитывать такие существенные технологические факторы, как ковкость, а в некоторых случаях и отжигаемость. Это позволяет увеличивать в быстрорежущей стали содержание углерода и легирующих элементов с целью достижения более высоких режущих свойств [1].

С другой стороны, литой инструмент расширяет возможности использования малолегированных быстрорежущих сталей. Как известно, многие марки малолегированных быстрорежущих сталей в определенных условиях работы не только не уступают стали РФ-1, но даже превосходят ее. Однако эти стали не обладают достаточной универсальностью, и вследствие этого массовый выпуск их оказался нецелесообразным. При изготовлении же литого инструмента инструментальными цехами металлообрабатывающих заводов в большинстве случаев отпадает необходимость широкой универсальности применяемых марок. Наоборот, повидимому, будет целесообразна даже некоторая специализация, а именно, использование для того или иного вида инструмента, работающего в определенных условиях, более дешевых, но для данных условий высокопроизводительных малолегированных быстрорежущих сталей.

Поскольку подробного исследования литых молибденовых быстрорежущих сталей не производилось, состав изготавливаемых сталей варьировался в довольно широких пределах. Как видно из табл. 1, где даны химический состав и обозначение плавок, изготовленные стали относятся к вольфрамомолибденовым и молибденовым, а по степени легированности—

главным образом к среднелегированным и малолегированным быстрорежущим сталям.

Таблица 1

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛАВОК

№ плав-ки	Обозначение	Химический состав в %					
		C	W	Cr	Y	Mo	Co
1	18-4-1-1	0,75	18,04	3,94	1,5	0,9	—
11	16-4-1-5	1,51	16,41	3,83	1,43	4,76	—
6	9-4-1-4	0,71	9,06	3,88	1,43	4,44	—
14	6-4-2-4	1,03	6,21	4,53	1,61	4,16	—
16	6-4-2-4	1,14	6,12	4,48	1,66	4,2	—
9	8-3-1-3	1,38	8,14	2,88	1,38	3,21	—
15	1-4-2-4	1,01	1,32	4,51	2,02	4,12	—
10	1-4-2-4	1,12	1,41	4,16	2,21	4,21	—
13	2-4-2-4	1,23	2,04	4,61	2,18	4,03	—
12	2-4-2-4+12Co	0,93	2,16	3,82	2,13	4,42	12,4

Содержание хрома для всех плавок было принято в пределах, установленных для стандартных сталей РФ-1 и ЭИ-262. Содержание ванадия колеблется от 1,5 до 2,3% и, таким образом, не выходит за пределы, принятые для стали ЭИ-262.

Вопрос о влиянии содержания углерода в быстрорежущей стали на её режущие свойства, приобретающий особое значение для литого инструмента, изучен сравнительно мало. Но, так как недостаточность углерода в кованных сталях для достижения наилучших режущих свойств можно считать общепризнанной, в наших плавках мы задавали главным образом повышенные содержания углерода. В большинстве изготовленных сталей углерод содержится в количестве 1,0—1,25%.

Варка сталей производилась в высокочастотной печи. В качестве сырых материалов для изготовления плавок использовались заводские отходы сталей марки РФ-1 и У-12 и ферросплавы хрома, молибдена и ванадия. Тигель печи имел кислую футеровку. Во время плавки металл защищался шлаком, образующимся при расплавлении засыпаемого в тигель битого стекла. Раскисление металла производилось перед разливкой путем присадки в тигель печи алюминия.

В качестве инструмента, отливаемого из изготовленных плавок, были выбраны ножи торцевых фрезеров, которые при центробежном литье в металлические формы могут быть получены с готовым рифлением для крепления. Поверхность отлитых ножей, как правило, была чистой. Несмотря на то, что содержание молибдена в большинстве плавок значительно превосходило предел 1,6—1,9%, с превышением которого начинается сильное обезуглероживание при нагреве стали под закалку [2], при литье в кокиль заметного обезуглероженного слоя на ножах не наблюдалось. Надо полагать, что и при литье в землю величина обезуглероженного слоя будет значительно меньше толщины слоя, который необходимо будет снять при заточке.

Исследование структуры

Исследование структуры сталей изготовленных плавов показало, что структура литой быстрорежущей стали может состоять из четырех составляющих: $\delta(\alpha)$ —фазы, располагающейся в центральных зонах дендритных образований; темных троститовых участков, окружающих $\delta(\alpha)$ —фазу; светлых полей мартенсита (гарденита) и остаточного аустенита и прилегающей к ним сетки карбидной эвтектики.

Участки $\delta(\alpha)$ —фазы, являясь твердым раствором легирующих элементов в феррите, представляют собой δ —фазу, зафиксированную в структуре литой быстрорежущей стали в результате большой скорости охлаждения, которая имела место при литье в кокиль.

О происхождении троститовых участков в структуре литой быстрорежущей стали в литературе нет единого мнения. Троститовые участки, согласно исследованиям Лебедева и Ревиса [3], имеют несколько меньшую красностойкость и меньшую твердость по сравнению с мартенситом ковальной быстрорежущей стали.

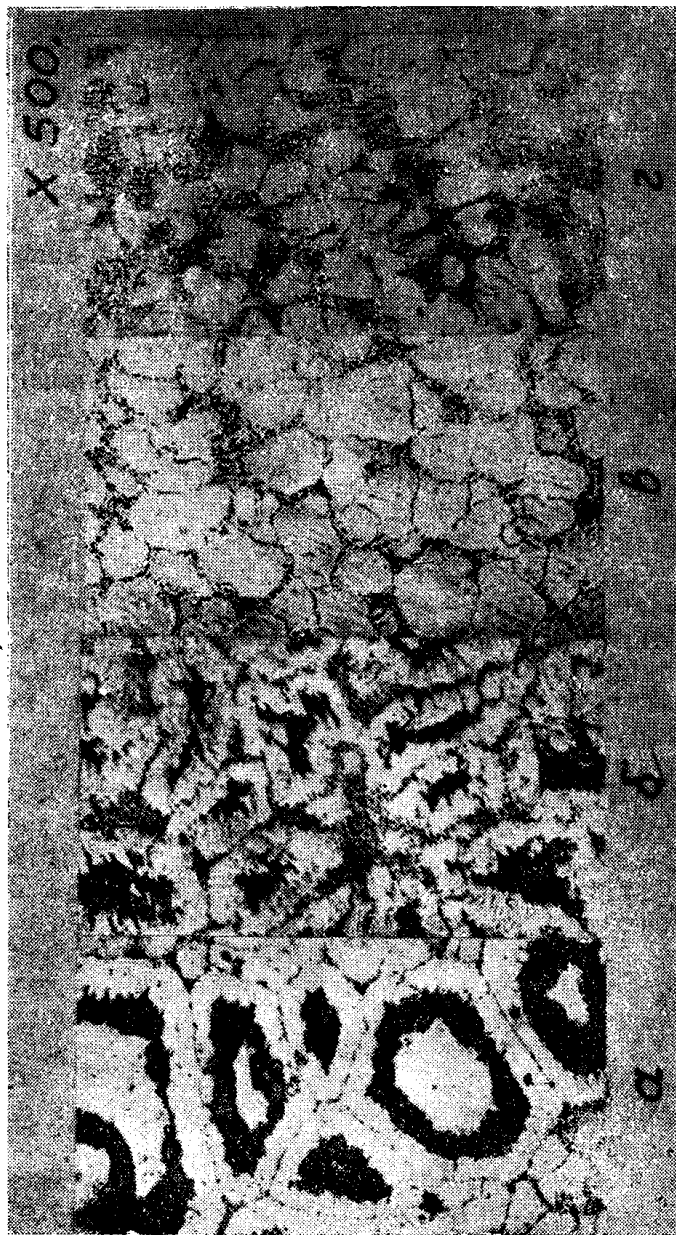
Светлые поля, состоящие из бесструктурного мартенсита и остаточного аустенита (белая фаза), получают в структуре литой быстрорежущей стали в результате закалки высоколегированного аустенита. По твердости и красностойкости, как показали исследования упомянутых авторов [3], они значительно превосходят твердость и красностойкость мартенсита закаленной ковальной быстрорежущей стали.

Эвтектическая сетка, кристаллизующаяся последней и состоящая из карбидов и аустенита, в зависимости от скорости охлаждения, может иметь различное строение. При отливке быстрорежущей стали в землю обычно наблюдается слияние эвтектических карбидов и образование так называемых „скелетообразных“ форм. При отливке в кокиль благодаря более высоким скоростям охлаждения слияния карбидов обычно не наблюдается, и сетка сохраняет характерное эвтектическое строение.

Изменение структуры литой быстрорежущей стали в зависимости от её химического состава при одинаковых условиях отливки (в кокиль) видно на фиг. 1. При химическом составе, близком к стали РФ-1, как показывает микрофотография *а*, представляющая структуру стали плавки № 1, в структуре литой быстрорежущей стали присутствуют все четыре составляющих. С уменьшением в составе стали содержания легирующих элементов или увеличением содержания углерода, приводящем к сужению δ —области, в структуре литой быстрорежущей стали исчезает $\delta(\alpha)$ —фаза. Структуру стали плавки № 6, имеющую три составляющих, иллюстрирует микрофотография *б* (фиг. 1). Затем при дальнейшем увеличении содержания углерода исчезает также темная фаза и остаются всего две составляющих—белая фаза и карбидная эвтектика. Такую структуру, подобную представленной на микрофотографии *в* (фиг. 1), имели стали плавов № 10, 12, 13, 14, 15 и 16. На микрофотографии *г* (фиг. 1) приведена структура стали высокоуглеродистой плавки № 11, эта структура точно так же, как и предыдущая, состоит из белой фазы и карбидной эвтектики, только доля карбидной эвтектики значительно больше.

Режущие свойства литого инструмента в значительной мере определяются характером литой структуры. Испытание режущих свойств показало, что присутствие в структуре литой быстрорежущей стали мягких участков $\delta(\alpha)$ —фазы, как, например, в случае плавки № 1, резко снижает режущую способность инструмента. Таким образом, общепринятые составы кованных быстрорежущих сталей (плавка № 1 близка по составу к стали РФ-1) зачастую могут оказаться совершенно непригодными для изготовления литого режущего инструмента. Судя по плохим режущим свойствам плавки № 6, присутствие в структуре литой быстрорежущей

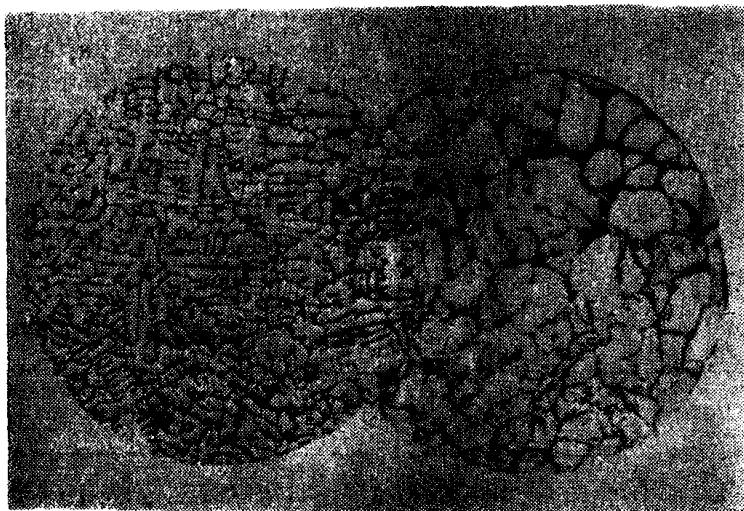
стали троститовых участков, благодаря их слабой легированности, является также нежелательным. Наилучшими режущими свойствами обладали плавки, структура которых состояла из белой фазы и умеренно развитой сетки карбидной эвтектики. При чрезмерном развитии карбидной эвтектики (плавка № 11) режущие свойства ухудшались вследствие появления повышенной хрупкости.



Фиг. 1

В отношении зернистости литой структуры и характера карбидной сетки существенные преимущества имеет кокильная отливка. При отливке в кокиль инструмент получает мелкозернистую структуру и равномерную карбидную сетку. Влияние скорости охлаждения отливки на структуру литой быстрорежущей стали иллюстрирует фиг. 2. На этой фигуре совмещены две микрофотографии структуры одной и той же плавки (№ 13), снятой при одинаковом увеличении, при этом правая микрофо-

тография представляет структуру ножа, а левая—структуру литника, имевшего по сравнению с ножом примерно в два раза меньшее сечение.



Фиг. 2

Поведение при отпуске и красностойкость

Исследование поведения плавков при многократном отпуске с температурой 560° показало, что у всех плавков за исключением плавков № 9 и 11 максимальная твердость достигается после 2—3-кратного отпуска. При этом плавки № 10, 12, 13, 14, 15 и 16 отличались очень высокой твердостью 67—68 R_c , объясняющейся особенностью их структуры, состоящей из более твердой, чем мартенсит кованой стали, белой фазы и карбидной эвтектики. Плавки № 9 и 11 значительно медленнее повышали свою твердость. Так, значение максимальной твердости у плавки № 9 достигалось лишь после 4—5-кратного, а у плавки № 11—8—9-кратного отпуска. Такое поведение этих плавков является следствием высокого содержания в них углерода, приведшего к образованию в их структуре более устойчивого остаточного аустенита.



Фиг. 3

В структуре плавков после отпуска наблюдалось образование в участках белой фазы игл мартенсита. Причем малолегированные и среднелегированные плавки с повышенным содержанием углерода (1,0—1,2%), как показывает микрофотография на фиг. 3, получали структуру крупноигльчатого мартенсита. Подобная структура крупноигльчатого мартенсита довольно часто встречается в некоторых малолегированных кованых быстрорежущих сталях, например ЭИ-184, после закалки их с высоких температур. Но в кованых быстрорежущих сталях крупноигльчатый мартенсит появляется совместно с общим укрупнением зерна. Наши же плавки все имели примерно одинаковую мелкозернистую структуру, и поэтому можно предполагать, что вредное влияние крупноигльчатого мартенсита в

отношении увеличения хрупкости инструмента сказалось сравнительно слабее.

Красностойкость наших плавов мы определяли по методу, предложенному Ю. А. Геллером [4]. По этому методу красностойкость характеризуется температурой четырехкратного часового отпуска, после которого твердость испытуемых образцов не снижается ниже значения $60 R_c$. Полученные нами значения красностойкости наших плавов даны в табл. 2. Как видно из таблицы, красностойкость большинства наших плавов имеет среднее значение между красностойкостью стали РФ-1, которая при закалке с 1300° колеблется в пределах $605\text{--}610^\circ$, и красностойкостью высококобальтовой стали РК-10, имеющей значение 650° при закалке с той же температуры.

Таблица 2

№ плавки	Обозначение	Содержание углерода в %	Значение красностойкости в $^\circ\text{C}$
1	18—4—1—1	0,75	630
11	16—4—1—5	1,51	658
6	9—4—1—4	0,71	600
14	6—4—2—4	1,03	637
16	6—4—2—4	1,14	637
9	8—3—1—3	1,38	658
15	1—4—2—4	1,01	626
10	1—4—2—4	1,12	628
13	2—4—2—4	1,23	642
12	2—4—2—4+12Co	0,93	635

Структуру литой быстрорежущей стали при наличии достаточных скоростей охлаждения можно рассматривать как структуру стали, полученную в результате закалки с более высоких температур, чем максимально возможные при термической обработке ковальной стали. А так как красностойкость быстрорежущей стали увеличивается с повышением температуры закалки, естественно, что литая сталь, получая закалку с более высокой температуры, чем кованая, имеет и более высокую красностойкость.

В отношении влияния химического состава быстрорежущей стали на красностойкость ее литой структуры (табл. 2) позволяет отметить весьма эффективное действие углерода. Увеличение содержания углерода в малолегированной стали (1—4—2—4) на 0,22% (плавка № 15 и 13) дало повышение ее красностойкости с 628 до 642° , в то время как добавка 4% вольфрама на повышении красностойкости сказалась менее значительно (плавка № 15 и 14). Этот же вывод подтверждается сравнением красностойкости плавки № 1, легированной на уровне стали РФ-1, и плавов № 15, 10, 13, относящихся к малолегированным, но имеющих более высокое содержание углерода. Плавки № 9 и 11, показавшие наиболее высокую красностойкость, превышающую красностойкость кобальтовой стали РК-10, имели в своем составе и наиболее высокое содержание углерода. Следует отметить, что содержание углерода в наших малолегированных

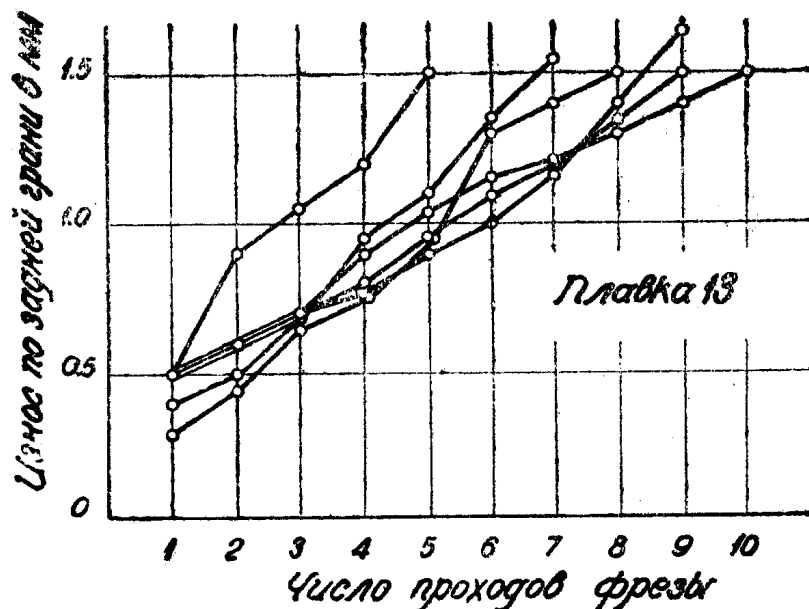
плавках № 10, 13 и 15, показавших высокую красностойкость, не является необычным для кованных малолегированных сталей, например ЭИ-276 и ЭИ-277. Но вследствие суженного интервала температур закалки возможности этих сталей, повидимому, не могут быть полностью использованы.

Испытание режущих свойств

При выборе методики испытания режущих свойств мы старались создать такие условия, которые бы наилучшим образом позволили выявить недостатки литой быстрорежущей стали. Структура литой быстрорежущей стали обладает высокой красностойкостью. Благодаря наличию карбидной сетки и более твердой основной металлической массы в отношении износоустойчивости, надо полагать, она окажется также более благоприятной для режущего инструмента, чем структура ковальной стали. Поэтому основным недостатком литой быстрорежущей стали естественно считать ее повышенную хрупкость.

С целью выявления повышенной хрупкости в качестве основных были приняты испытания режущих свойств при торцевом фрезеровании по достаточно вязкой, но высокопрочной стали ШХ-15 (185—205 Н_с). Чтобы не облегчать условий врезания, болванки с поверхности предварительно не обрабатывались и имели толстый слой окалины, образовавшейся после прокатки и отжигов. Испытания проводились без охлаждения.

Методика испытания заключалась в следующем: в корпус фрезера вставлялся всего один нож, и износ этого ножа измерялся по задней грани после каждого прохода фрезы при помощи микроскопа. В качестве кри-



Фиг. 4

терия затупления был принят износ, равный 1,5 мм. Диаметр фрезера по окружности режущей кромки составлял 170 мм. Фрезерование болванок производилось с торца, который имел размер 100×100 мм, при глубине фрезерования 3 мм, подаче на зуб 0,292 мм и числе оборотов шпинделя 48 об/мин. Кривые износа для ножей плавки № 13, приведенные на фиг. 4, показывают равномерный износ литых ножей, аналогичный износу кованных. Результаты испытаний ножей всех плавки, а также контрольных кованных ножей из стали РФ-1 приведены в табл. 3, где указана термиче-

ская обработка и твердость испытуемых ножей, число проходов до получения износа по задней грани, равного 1,5 мм, и среднее значение стойкости для каждой плавки.

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

по стали ШХ-15 со скоростью резания 25,6 м/мин при глубине резания 3 мм и подаче на зуб 0,3 мм

№ плавки	Термическая обработка ножей перед испытанием	Твердость испытуемых ножей, Rc	Стойкость в проходах	Среднее значение стойкости в		
				проходах	минутах	% к стойкости РФ-1
1	3-кратный отпуск при 560°	62—65	3	3,2	22,9	64
1	То же	62—65	3,6			
1	Закалка с 1280°, 3-кратный отпуск при 560°	63—64	3			
6	3-кратный отпуск при 560°	65—66	3,5	3,6	25,8	72
6	То же	65—66	3,7			
15	То же	68	5			
15	То же	68	5,5	5,25	37,5	105
10	То же	68	5,5			
10	То же	68	7			
10	Дополн. отпуск при 600°	65—66	6	5,7	40,8	113
10	Закалка с 1240°, 3-кратный отпуск при 560°	65—66	5			
10	То же	65—66	5			
13	3-кратный отпуск при 560°	68	5	7,85	56,2	156
13	То же	68	8			
13	То же	68	8,3			
13	Дополн. отпуск при 600°	66	6,8	6,9	49,3	137
13	2-кратный отпуск при 580°	68	10			
13	1-кратный отпуск при 600°	66	9			
14	3-кратный отпуск при 560°	68	5,8	6,9	49,3	137
14	То же	68	7			
16	3-кратн. отпуск при 560°	68	6,6			
16	То же	68	7	7	50,1	140
16	Закалка с 1240°, 3-кратный отпуск при 560°	66	6,4			
16	То же	66	8			
12	Без термическ. обработки	65—66	6,5	7,7	55,1	154
12	3-кратный отпуск при 560°	68	10,3			
12	То же	68	7			
12	Закалка с 1240° 3-кратный отпуск при 560°	65	7	2,76	19,0	53
9	5-кратный отпуск при 560°	64—65	1,6			
9	То же	64—65	3,4			
9	Закалка с 1240°, 3-кратный отпуск при 560°	65	3	3,27	23,4	65
11	11-кратный отпуск при 560°	65—66	2			
11	То же	65—66	2,8			
11	То же	65—65	5	5	35,8	100
РФ-1	Закалка с 1280—1290° и 3-кратный отпуск при 560°	65—66	4			
кован	То же	65—66	4,6			
"	То же	65	5	5	35,8	100
"	То же	65	3,4			
"	То же	64—65	5			
"	То же	64—65	5,6	5	35,8	100
"	То же	66	7			

Плохие режущие свойства ножей плавки № 1, как уже указывалось, объясняются наличием в их структуре мягкой составляющей $\delta(\alpha)$ -фазы. Плохая стойкость плавки № 6, повидимому, связана с ее низкой красностойкостью. Ножи плавков, структура которых состояла из белой фазы и умеренно развитой карбидной эвтектики, показали хорошие режущие свойства. Так, ножи молибденовых малолегированных плавков № 15, 10 и 13 (1—4—2—4) превысили по стойкости контрольные кованые ножи из стали РФ-1 на 5—56%. Причем можно отметить заметное улучшение режущих свойств с увеличением в стали содержания углерода. Плавки № 14 и 16 (6—4—2—4), отличающиеся от предыдущих более высоким содержанием вольфрама, превысили по стойкости кованую сталь РФ-1 примерно на 40%. Помимо вольфрама по содержанию остальных элементов плавка № 14 весьма близка к плавке № 15, а плавка № 16—к плавке № 10. Таким образом, увеличение содержания вольфрама на 4% дало повышение стойкости на 20—30%, т. е. сказалось слабее, чем увеличение содержания углерода на 0,22% (плавки № 15 и 10). Высокоуглеродистые плавки № 9 и 11, показавшие очень высокую красностойкость, при фрезеровании дали неудовлетворительные результаты. Это говорит за то, что в отношении улучшения режущих свойств за счет углерода имеется определенный предел. Так, если литые ножи предыдущих плавков в работе не выкрашивались и по характеру износа вели себя аналогично кованым, ножи плавков № 9 и 11 отличались весьма неравномерным износом, свидетельствующим о выкрашивании по режущей кромке и, следовательно, о их повышенной хрупкости.

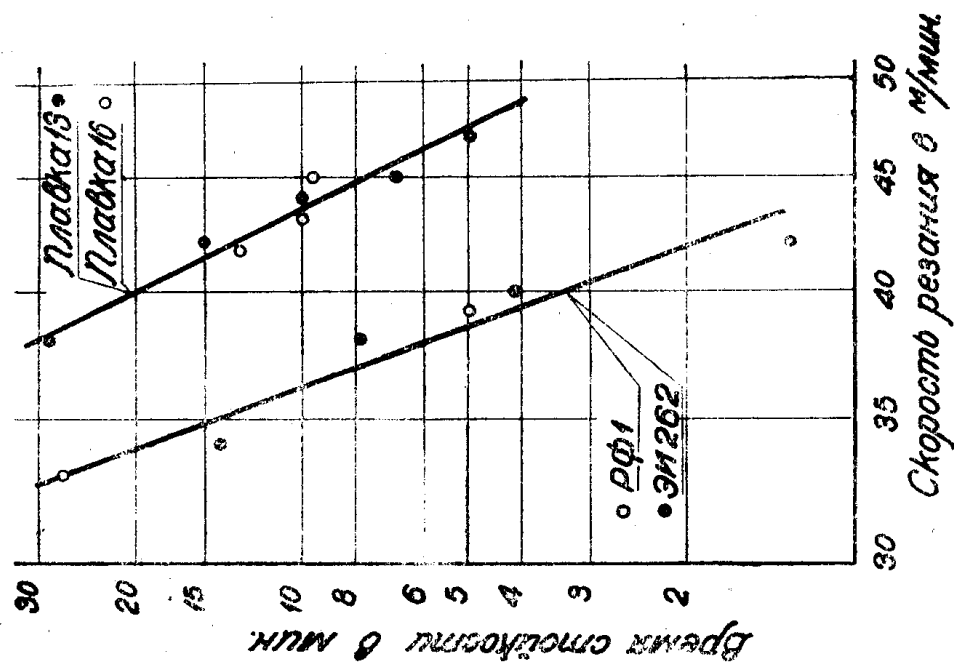
Кроме испытания режущих свойств фрезерованием, нами также были проведены испытания некоторых плавков при токарной работе.

Обрабатываемым материалом служила сталь ШХ-15. Глубина резания была равной 2 мм, а подача—0,273 мм на один оборот шпинделя. Резцы для этих испытаний представляли собой те же литые ножи торцевого фрезера, заклиниваемые в вертикальном положении в специально изготовленные для этой цели оправки. В качестве критерия затупления была выбрана полная посадка резца. Испытания проводились при различных скоростях резания и на основании их строился график в логарифмических координатах „скорость резания—стойкость“. Для получения сравнительных данных в этих же условиях было проведено испытание изготовленного нами эталонного кованого ножа из стали РФ-1. Этот нож точно так же, как и литые, вставлялся в оправку и имел с ними одинаковые размеры. Кроме эталонного ножа были использованы также данные испытаний цельного кованого резца сечением 16×32 мм из стали ЭИ-262. Приведенный на фиг. 5 график показывает, что оба контрольных резца дали весьма близкие результаты.

Результаты, полученные при испытаниях литых резцов наших плавков при точении, как мы и ожидали, оказались значительно лучше, чем при фрезеровании. Как видно на том же графике фиг. 5, линия стойкости наших плавков располагается значительно выше линии стойкости контрольных резцов. Стойкость резцов плавков № 13 и 16 в состоянии литья и нормального отпуска оказалась примерно в 5 раз выше стойкости кованой стали РФ-1.

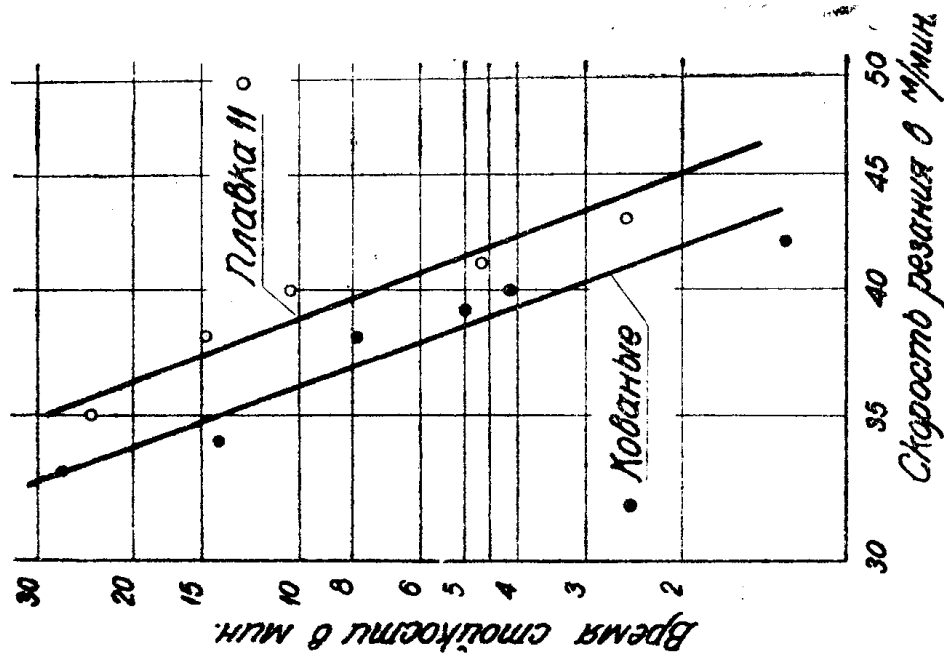
Плавка № 11, как указывалось выше, вследствие повышенной хрупкости не дала при фрезеровании удовлетворительных результатов, но так как эта плавка показала чрезвычайно высокую красностойкость, мы сочли целесообразным испытать ее при токарной работе, где фактор хрупкости должен сказываться значительно слабее. Результаты, полученные при испытании резцов этой плавки, приведены на фиг. 6. График показывает, что хотя линия стойкости плавки № 11 и превышает линию стойкости контрольных резцов, ожидаемых от нее высоких режущих свойств мы

не получили. Стойкость резцов плавки № 11 значительно уступает стойкости плавок № 13 и 16 и всего примерно в 2 раза выше стойкости рез-



Фиг. 5

цов из стали РФ-1. Возможно, что повышенная хрупкость этой плавки при образовании в процессе снятия стружки лунки на передней грани



Фиг. 6

резца и ослабления таким образом режущей кромки также и в этом случае сыграла свою отрицательную роль.

Термическая обработка плавов

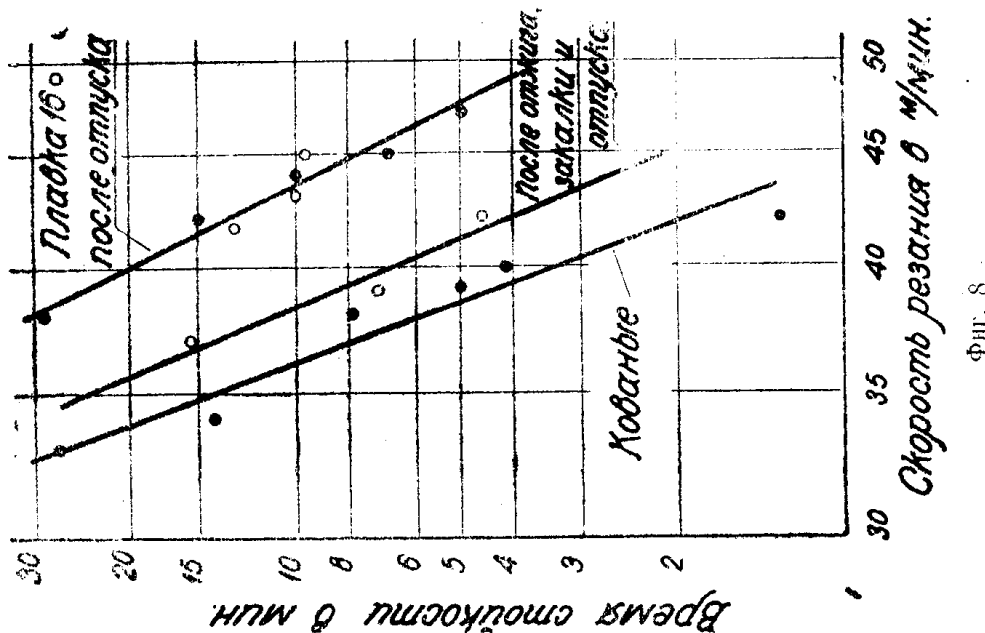
Данная часть работы имела целью определить влияние отжига и закалки на структуру, красностойкость и режущие свойства наших плавов.

Отжиг образцов всех плавов был произведен по одинаковому режиму и заключался в нагреве до $840-860^{\circ}$, выдержке при этой температуре в течение 3 часов, охлаждении со скоростью $40-50^{\circ}$ в час до $740-760^{\circ}$, выдержке при этой температуре в течение 5 часов и охлаждении с печью. После отжига структура всех плавов состояла из основного сорбитного фона и эвтектических карбидов, причем в строении эвтектических карбидов отжиг не вызвал заметных изменений в отношении их слияния и коагуляции.

После закалки структура всех образцов состояла из основной металлической массы, образованной мартенситом и остаточным аустенитом, и карбидов. В строении карбидной сетки в зависимости от температуры закалки можно отметить следующие изменения. Уже нагрев под закалку до температур $1200-1240^{\circ}$ приводит в малолегированных и среднелегированных плавках к заметному слиянию и коагуляции эвтектических карбидов. Вследствие этого наблюдается значительный разрыв карбидной сетки с образованием в ее узлах скелетообразных форм и коагулировавших



Фиг. 7



Фиг. 8

карбидов, расположенных по ее первоначальным направлениям. Структура плавки № 13 после отжига и закалки с температуры 1240° дана на микрофотографии фиг. 7. При дальнейшем повышении температуры за-

калки наблюдалась дальнейшая коагуляция карбидов и разрыв карбидной сетки. Нагрев до температуры закалки, вызывавшей оплавление образцов, сопровождался интенсивным ростом зерна с образованием вторичной карбидной сетки, которая имела ясно выраженную скелетообразную форму.

Таким образом, в нашем случае при литье в кокиль последующие отжиг и закалка действовали скорее ухудшающим, чем улучшающим образом на структуру литой быстрорежущей стали. Если в исходной литой структуре мы имели сетку с мелкими карбидами характерного эвтектического строения, то после отжига и закалки мы получили более или менее крупные карбидные скопления при общем укрупнении зерна.

Исследования красностойкости отожженных и закаленных образцов показали, что в этом отношении указанная термическая обработка в значительной мере лишает литую быстрорежущую сталь ее положительных особенностей. По сравнению с исходным литым состоянием после отжига и закалки значение красностойкости во всех случаях снижалось примерно на 15—20°. Испытание режущих свойств плавок после отжига и закалки также не дало положительных результатов. При испытании точением, как показывает график на фиг. 8, в случае плавки № 16 после отжига и закалки с 1240° мы имели заметное ухудшение режущих свойств. При фрезеровании, где фактор красностойкости имеет сравнительно меньшее значение, как свидетельствует табл. 3, режущие свойства плавок после отжига и закалки остались на прежнем уровне.

Выводы

1. По красностойкости литые быстрорежущие стали (литье в кокиль) вследствие особенностей их структуры значительно превосходят кованные. При этом возможность увеличивать красностойкость литых сталей за счет углерода позволяет получать дешевые малолегированные литые быстрорежущие стали, по режущим свойствам не уступающие стандартной кованой стали РФ-1.

2. В улучшении режущих свойств литых сталей за счет углерода имеется определенный предел, так как с увеличением содержания углерода в структуре литой быстрорежущей стали возрастает доля карбидной эвтектики и увеличивается хрупкость.

3. Термическая обработка—отжиг и последующая закалка—лишает до некоторой степени литую быстрорежущую сталь (литье в кокиль) ее специфических особенностей и, снижая красностойкость, ухудшает режущие свойства.

4. Литые молибденовые быстрорежущие стали обладают высокими режущими свойствами. Поэтому в быстрорежущих сталях для литого инструмента, не подвергающегося термической обработке кроме отпуска, молибден может быть с успехом использован, как основной легирующий элемент.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Добровидов, А. М. Розенберг и Г. М. Яковлев. Станки и инструмент, № 5, 1947.
2. Ю. А. Геллер. Станки и инструмент, № 7—8, 1944.
3. Т. А. Лебедев и И. А. Ревис. Труды ЦНИИ НКТП, № 2—3 (23—24), 1945.
4. Ю. А. Геллер. Заводская лаборатория, № 3, 1947.